

脳波計測を用いた音楽鑑賞時の協和音・不協和音に対する
人間脳活動に関する研究
**A Study on Human Brain Activity for Consonance and Dissonance
during Music Appreciation
Using Electroencephalogram (EEG) Measurement**

張 琪

Qi Zhang

要旨: 音楽鑑賞は人間にとっては楽しみであるだけでなく、心身の健康に大きな影響を与えると思われるため、医療に音楽利用する音楽療法も生まれた。音楽療法の作用メカニズムを解明するには、協和音・不協和音が人間の脳活動にどのような影響を与えるかに視線が注がれている。本研究では、脳波計測を用いて、普段よく鑑賞されるピアノ単体のクラシック曲を実験刺激として利用し、協和音・不協和音が音楽鑑賞時に脳活動にもたらす影響を探ってみた。被験者による個人差があったが、後頭葉、左側頭葉、右頭頂葉、及び前頭葉で脳活動成分が観測された。これらの結果は今後の音楽療法の有効活用につながることに期待したい。

キーワード: 脳波計測、協和音、不協和音、音楽鑑賞、独立成分分析

Abstract: Music appreciation is not only fun for human beings, but is also thought to have a major impact on physical and mental health. Therefore, music therapy that uses music for sound medicine was also developed. In order to elucidate the mechanism of music therapy, attention has been paid on the effects of consonance and dissonance on human brain activity. In this study, we used electroencephalogram (EEG) measurement to investigate the effects of consonance and dissonance on brain activity in normal music appreciation by using the classical songs of the piano alone as the experimental stimuli. Brain activity components were observed in the occipital lobe, left temporal lobe, right parietal lobe, and frontal lobe, depending on the subjects. We hope that these results will lead to the effective use of music therapy in the future.

Keywords: electroencephalogram (EEG) measurement, consonance, dissonance, music appreciation, independent component analysis (ICA)

1. はじめに

音楽鑑賞は人間にとっては楽しみであるだけでなく、心身の健康に大きな影響を与えると思われる。音楽が人間の感情にどのような影響をもたらすかを解明するため、近年、様々な研究が行われていた。特に、心地よいと言われる協和音、不快なものの不協和音（中村、2010）の影響に視線が注がれた。協和音・不協和音を聴取中の皮膚コンダクタンスと脈波を計測することで、不協和音で終わる和音系列よりも、協和音で終わる和音系列の方

は緊張が緩和され、感動が強かったことが示唆された（佐藤・具・荒木・入戸野，2018）。また、協和音・不協和音が脳血流変化にもたらす影響について、光トポグラフィー装置（NIRS）を用いて研究で、左側頭葉に酸化ヘモグロビン量が有意に増加したことも報告された（大黒，渡邊，2012）。これらの研究で聴覚刺激として使用されたのは協和音と不協和音による組み合わせられた和音系列であり、普段人々が鑑賞している曲と構成が異なっていた。もし普段鑑賞された曲でも協和音・不協和音の効果が確認できれば、音楽を利用する精神疾患を治療する音楽療法の普及にも繋がると思われる。本研究では、このような単純に組み合わせられた系列ではなく、普段よく鑑賞されるピアノ単体のクラシック曲を実験刺激に使用し、協和音・不協和音が普段の音楽鑑賞で脳活動にもたらす影響を探ってみた。

2. 協和音・不協和音

日本大百科全書(ニッポニカ)の解説により、協和音はある一つの楽音に対し、よく調和して鳴り響く音程関係（協和音程）にある楽音という。この協和音程に対して、調和して鳴り響かない音程関係を不協和音程というが、音程関係はかならず協和か不協和かのどちらかに含まれるのであり、協和と不協和の対立関係は、同時に表裏一体の関係をもなしている。

この協和—不協和については、17 世紀以降の西洋音楽でとくに活発に論ぜられた。ここでは、1 度、8 度、5 度、4 度の関係がもっともよく調和する音程（完全協和音程）、長短の 3 度と 6 度の関係がいちおう調和する音程（不完全協和音程）、長短の 2 度と 7 度、それにあらゆる増と減の関係が調和しない音程（不協和音程）とされた。また和音に対しても、協和音程だけで構成されているものを協和和音とよび、不協和音程を含むものを不協和和音とよんだ（日本大百科全書 Web 版，小学館）。

一方、周波数の異なる 2 つ以上の音を同時に鳴らした時の音を和音といい、その響きが心地よいものを協和音、不快なものを不協和音という定義もある（中村，2010）。

本研究では、音程に基づき定義が採用され、これに従い協和音・不協和音の刺激を作成した。

3. 実験方法

3.1 実験装置

脳波測定には、Emotiv EPOC（Emotiv Inc.）という携帯型簡易脳波測定計を使用した（図 1）。Emotiv EPOC には 14 Channel の脳波測定センサーが搭載され、脳波信号の収集にワイヤレス送信方式が採用されている。実験時に刺激提示用 PC と脳波データ収集用 PC をそれぞれ用意し、計 2 台の PC を使用した。脳波データにも刺激提示タイミングを記録させるため、2 台のパソコンをシリアルポート経由で RS-232 ケーブルを使って接続した。



図 1: Emotiv, Inc 社の簡易脳波測定計 Emotiv EPOC

3.2 実験刺激

実験刺激を用意するには次の定義に基づいた。

- ・ 協和音程といわれる音程は完全 1 度と完全 8 度（絶対協和音程）、完全 4 度と完全 5 度（完全協和音程）、長短 3 度と長短 6 度（不完全協和音程）
- ・ 不協和音程はこれ以外の音程、つまり長短 2 度と長短 7 度、増音程と減音程

下記のピアノ単体のクラシック曲から、協和音と不協和音だけで構成された部分をそれぞれ 10 秒間の長さで 10 個を抽出した。

- ・ 協和音を多く含む曲
 - モーツァルト ピアノ・ソナタ第 15 番 ハ長調
 - モーツァルト ピアノ・ソナタ第 11 番イ長調
 - モーツァルト「ああ、ママに言うわ」による 12 の変奏曲 ハ長調
- ・ 不協和音を多く含む曲
 - ドビュッシー 前奏曲集第 2 巻より 第 4 曲〈妖精はよい踊り子〉
 - ドビュッシー ベルガマスク組曲 - 3. 月の光
 - ドビュッシー 夢

3.3 実験刺激提示方法

脳波測定実験の刺激をランダム的に提示するため、OpenSesame という刺激提示用のフリーソフトウェア(Mathot, S., et al., 2012)を使用した。OpenSesame は Graphic User Interface を持ち、Python プログラミング言語による Script もサポートしている。実際に OpenSesame で刺激提示プログラムを作成した際には、Graphic ベースで基本的な刺激提示命令を作成したうえで、細かい設定や効率の良い刺激提示プログラムにするために Script も利用した（図 2）。

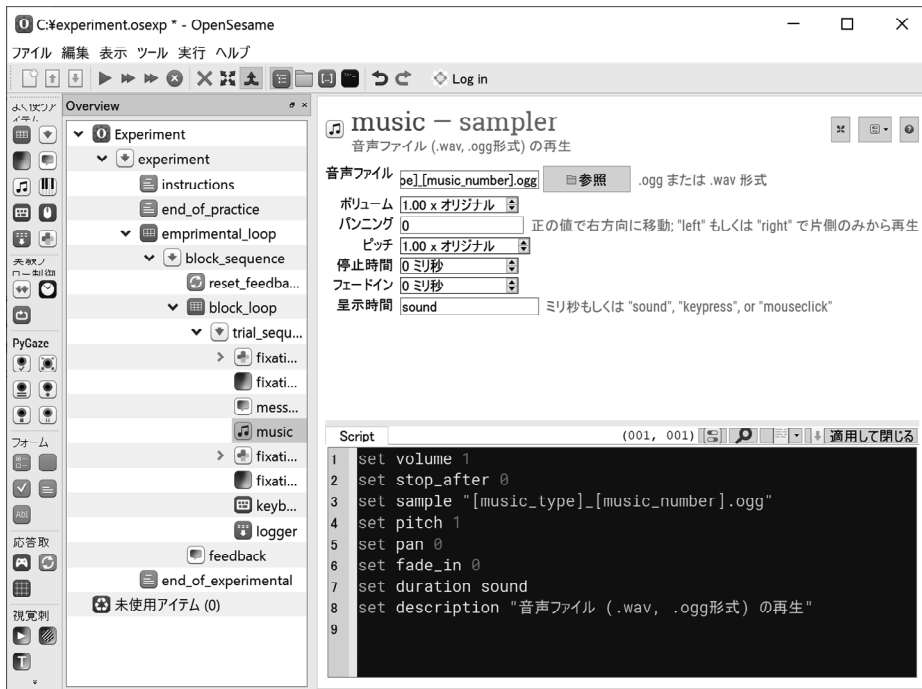


図 2: 刺激提示ソフトウェア OpenSesame の画面

3.4 実験の実施

ゼミ生 4 名（男性 3 名、女性 1 名、平均年齢 21.5 歳、21-22 歳）が被験者として実験に参加した。被験者をリラックスした状態で椅子に座らせ目を瞑らせ、両耳に装着したイヤホンを通して聴覚刺激を与えた。

被験者に各音楽刺激に対し、再生終了後 5 秒以内に音楽鑑賞時にリラックスを感じたかについて判断させ、対応するキーボードのキーを押してもらう。キーが押されたら、すぐに無音休憩状態に切り替わり、次の刺激提示サイクルに進んでいく。協和音刺激と不協和音刺激をランダムでそれぞれ 10 回（合計 20 回）提示する。図 3 に実験刺激提示のタイムフローが示された。

各被験者に対し、最大 400 秒のセッションを 2 回行った。セッションの間は、被験者を疲れが取れるまで休憩させた。

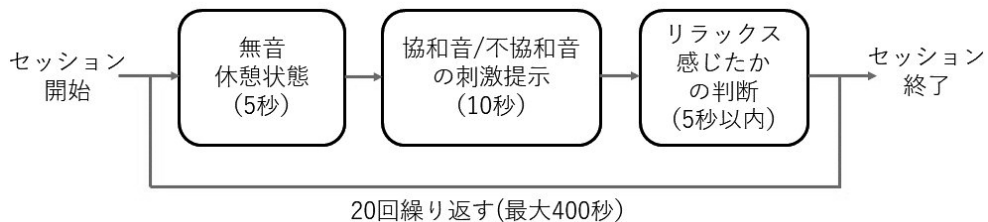


図 3: 実験刺激提示のタイムフォロー

3.5 実験データ分析

脳波測定実験で収集した脳波データを脳波解析フリーソフト EEGLAB (Delorme, A. & Makeig, S., 2004) を利用して分析を行った。EEGLAB は MathWorks 社が開発した数値計算用ソフトウェア MATLAB をベースとしていた。データ分析した時、まずはベースラインを除去し、そして、フィルタリングによって脳波信号帯域以外の周波数を排除した。その後、音楽再生始め時点を 0 にし、前 1000 ms から音楽終了までの間の脳波データのみを取り出し、分析を行った。さらに、独立成分分析(ICA)手法を用いてデータ分析を行い、ノイズ (アーティファクト) 成分を分離したうえで、人間の脳波特徴を持った成分のみに注目した (開, 金山, 河内山 他, 2016)。

4. 実験結果と考察

1 名の被験者の脳波信号にノイズが多すぎたため、分析から除外した。3 名の被験者のデータを分析した結果、協和音に対して、2 名の被験者に後頭葉の脳活動成分が観測された (図 4)。もう 1 名の被験者は後頭葉より前頭葉で脳活動成分が目立った (図 5)。一方、不協和音に対し、3 名の被験者とも左側頭葉に脳活動成分が観測された。その一例を図 6 で示した。また、左側頭葉だけではなく、右頭頂葉 (図 7) にも脳活動成分が観測された。

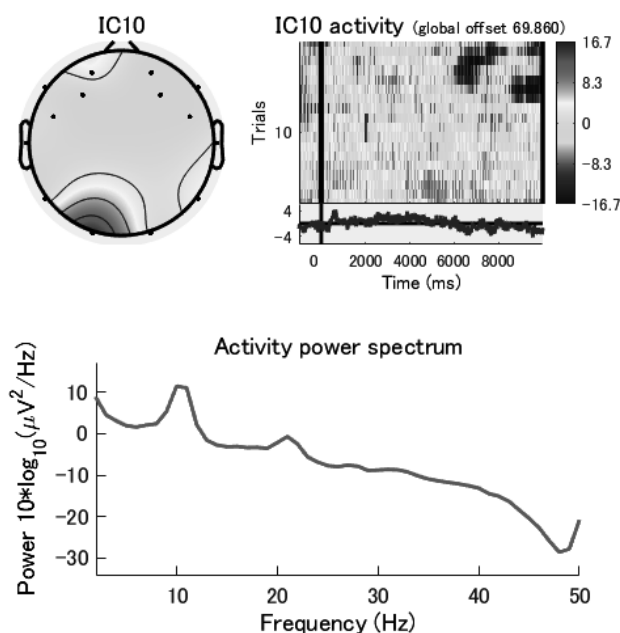


図 4: 協和音に対する左後頭葉の脳活動成分の一例

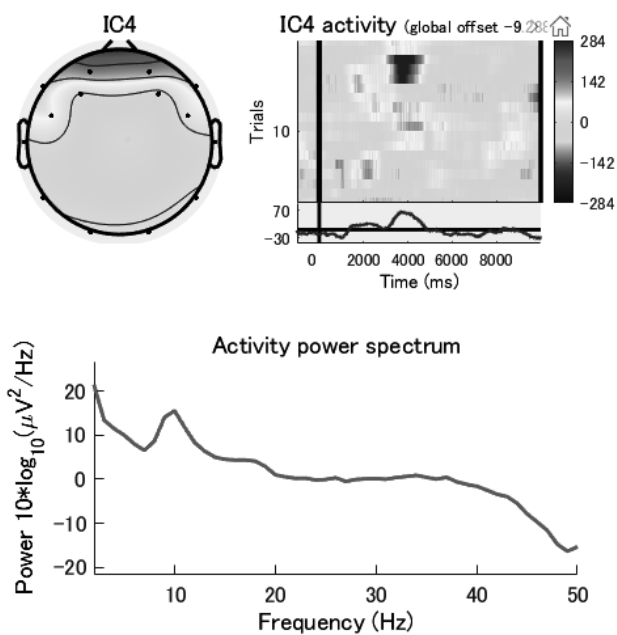


図 5: 協和音に対する前頭葉の脳活動成分の一例

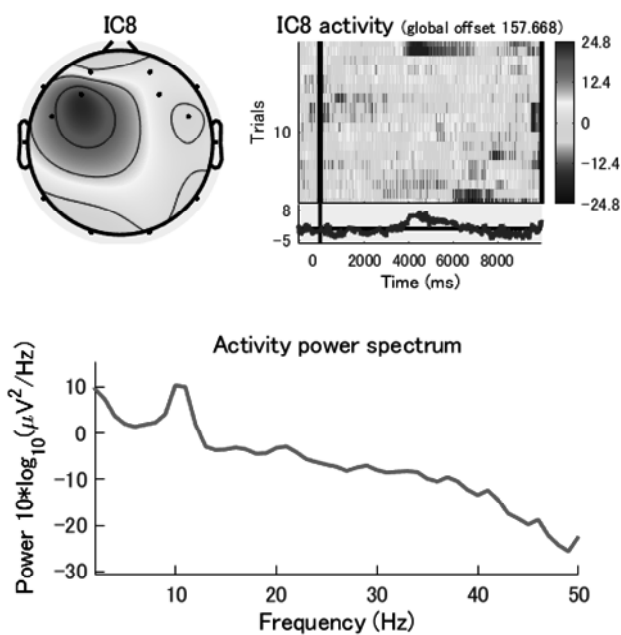


図 6: 不協和音に対する左側頭葉の脳活動成分の一例

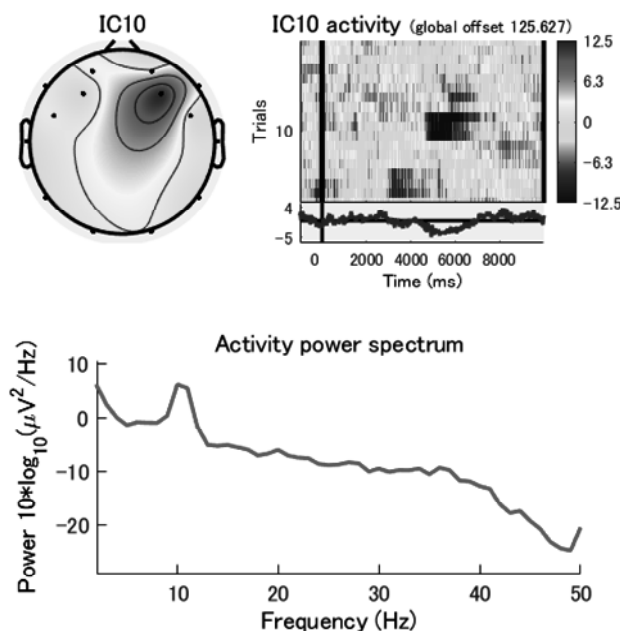


図 7: 不協和音に対する右頭頂葉の脳活動成分の一例

図 4—図 7 の下段に表示された周波数分析結果から、協和音と不協和音両方の刺激に対し、10Hz 近辺にパワーピークが存在していることが分かった。つまり、 α 波が観察された。

以上のことから、協和音・不協和音に対する被験者の脳内活動に相違が存在することが推察できる。

本研究で観測された左側頭葉の脳活動は、NIRS を用いた研究(大黒, 渡邊, 2012)で報告された左側頭葉に酸化ヘモグロビン量が有意に増加した結果と一致した。また、その他の脳活動が存在することも音楽療法の作用メカニズムの解明に繋がることに期待したい。今回は一定の研究成果が得られたように思えるが、被験者の人数はとても少ないため、被験者の数を増やすことはより説得力ある結果を導き出すためには不可欠である。

5. おわりに

本研究では、脳波計測を用いて普段よく鑑賞されるピアノ単体のクラシック曲を実験刺激として利用し、協和音・不協和音が音楽鑑賞時に脳活動にもたらす影響を探ってみた。被験者による個人差があったが、後頭葉、左側頭葉、右頭頂葉、及び前頭葉で脳活動成分が観測された。

本研究はゼミナール学生との共同研究として、ゼミ生安川大騎が実験の設計から、実験刺

激の準備、実験の実施、実験データの分析まで積極的に取り組んだ。他のゼミ生も実験について一緒にディスカッションし、被験者としても参加した。このような研究活動を通じ、ゼミ生が脳波測定の実際的なノウハウを身につけることができただけでなく、結論をより説得力のあるものにするために、どのような調査や実験を行うべきなのかを自ら考え、計画するよい機会になったと考える。こうした多摩大ゼミでの研究実践のために有意義な補助を頂いたことをあらためて感謝したい。

参考文献

- 大黒達也、渡邊雅幸(2012): 和音進行時における協和音、不協和音の聴取に関連する脳血流動態の変化—音楽療法の神経生理学的基盤と関連して—、昭和大学保健医療学雑誌第10号、1-12.
- 佐藤那由多、具滋閔、荒木良太、入戸野宏(2018): 協和音・不協和音による緊張度の変化パターンと感動との関係、日本認知心理学会第16回大会、pP2-005.
- 中村健太郎(2010): 図解雑学「音のしくみ」、ナツメ社.
- 日本大百科全書(ニッポニカ) Web版(1984-1994), 小学館.
- 開 一夫, 金山 範明, 河内山 隆紀 他(2016): 『脳波解析入門: EEGLAB と SPM を使いこなす』東京大学出版会.
- Delorme, A. & Makeig, S. (2004): EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics. *Journal of Neuroscience Methods* 134:9-21.
- Emotiv Inc. (2014): product specs sheet, <https://emotiv.com/product-specs/Emotiv%20EPOC%20Specifications%202014.pdf>
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012): OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314-324.